

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПИЛЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Гордеев В. Ф., (ООО ПТЦ «Промин», г. Нижний Новгород, РФ)
info@promin.nnov.ru

Адилов С. Г., (НГТУ, г. Нижний Новгород, РФ) info@promin.nnov.ru

DESIGN FEATURES OF FRAME-SAW FOR ULTRASONIC SAWING

Основная идея ультразвуковой лесопильной рамы заключается в наложении ультразвуковых колебаний на постав пил, что приводит к интенсификации процесса резания [3]. Пильная рамка показана на рисунке 1.

Возбуждение тангенциальных ультразвуковых колебаний в пилах осуществляется по схеме продольно-изгибно-продольных колебаний. При этом в пиле наряду с продольными (тангенциальными) колебаниями возникают еще и изгибные. Колебания пилы носят сложный характер, что связано с формированием интерференционной структуры нескольких типов волн.

Все вышесказанное оказывает большое влияние на геометрию и конструктивные параметры режущего инструмента.

Рассмотрим распространение продольных волн по пиле, которая в этом случае представляет собой стержень переменного сечения. В случае настройки пилы в резонанс по продольным колебаниям по ней распространяется стоячая продольная волна. Для определения резонансной длины пилы $l_{\text{п}}$, м, необходимо воспользоваться общим условием, когда в нее должно укладываться целое число длин продольных полувольт.

Главной особенностью ультразвукового резания с наложением тангенциальных ультразвуковых колебаний является отвод режущей кромки от обрабатываемого материала и движение ее назад в течение части времени каждого цикла. При этом передняя грань начинает выполнять роль задней и наоборот. Поэтому эффективным будет применение симметричной формы зуба, одна из возможных конструкций которого приведена в [4].

Кроме того, симметрия зуба позволяет исключить при возвратно-поступательном пилении холостой ход, что приводит к более полной загрузке привода главного движения, упразднению сложных механизмов подачи бревна и уклона пил.

В целях компенсации возникающих при распространении ультразвуковой волны отражений, возникающие в зубьях необходимо обеспечить выполнение двух условий.

Во-первых, требуется, чтобы в одну длину продольной волны укладывалось целое число шагов зубьев, то есть шаг пилы t , м, будет

$$t = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{f_k}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (1)$$

где E – модуль сдвига материала пилы, Па.

ρ – плотность материала пилы, кг/м³;

f_k – частота вынужденных колебаний, Гц.

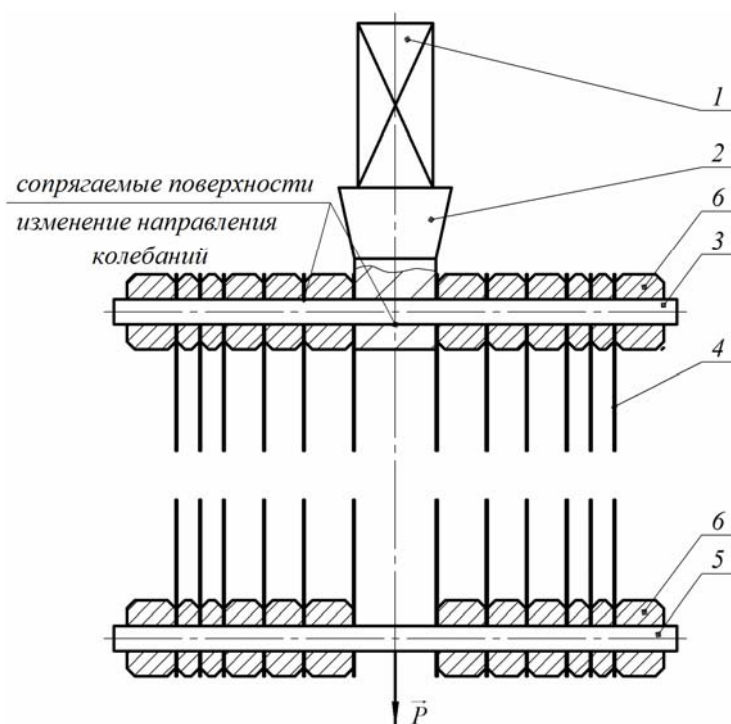


Рисунок 1 – Пильная рама ультразвуковой пилорамы:

- 1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – изгибный волновод; 4 – постав пил;
5 – натяжной стержень; 6 – прокладка межпильная

Во-вторых, пила должна быть симметрична относительно продольной оси, то есть зубья должны быть нарезаны с двух сторон, что может повлиять и на организацию процесса резания (можно, например, сделать подвижной пилораму, и пилить бревна в два направления).

Представляется целесообразным использовать пилы с отсутствием зубьев в узлах продольной волны, так как в этих точках резание является обычным [1].

Рамная пила показана на рисунке 2.

Рассмотрим распространение изгибных волн по пиле. Если пила настроена в резонанс по изгибным колебаниям, то по ней распространяется стоячая волна. Следует отметить, что на резонансную длину пилы по изгибным колебаниям $l_{из}$, м, оказывают влияния не только ее геометрические размеры, но и сила натяжения P , Н.

В случае распространения в пиле изгибных волн имеет место резание с переменным углом наклона режущей кромки $\theta(x, t)$, рад. Причем этот угол складывается из двух составляющих – статической $\theta_{ст}(x, t)$, рад, и динамической $\theta_{дин}(x, t)$, рад, и равен

$$\theta(x, t) = \theta_{ст}(x, t) + \theta_{дин}(x, t). \quad (2)$$

Статическая составляющая обусловлена поворотом сечений пилы в результате ее изгиба. Динамическая составляющая зависит от соотношения основной и колебательной скорости резания.

Примем, что изгибные волны распространяются вдоль пилы по гармоническому закону. Стоячая волна описывается уравнением

$$y(x, t) = a_{\text{к и}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{\text{и}}}\right), \quad (3)$$

где $a_{\text{к и}}$ – амплитуда стоячей изгибной волны, м;

$\lambda_{\text{и}}$ – длина стоячей изгибной волны, м.

Распространение изгибных колебаний по пиле показано на рисунке 3. Исходя из геометрического смысла производной как углового коэффициента касательной в данной точке, угол наклона режущей кромки будет иметь следующее значение

$$\theta_{\text{ст}}(x, t) = \text{arctg}\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right),$$

$$\theta_{\text{ст}}(x, t) = \text{arctg}\left(-\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{\text{и}}} \cdot a_{\text{к и}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{\text{и}}}\right)\right). \quad (4)$$

Для пучностей

$$x = \pm \frac{m \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\theta_{\text{ст}}(x, t) = 0. \quad (5)$$

Для узлов

$$x = \pm \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\theta_{\text{ст}}(x, t) = \pm \text{arctg}\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{\text{и}}} \cdot a_{\text{к и}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t)\right). \quad (6)$$

Колебательная скорость будет равна

$$v_{\text{к}}(t) = \frac{\partial y}{\partial t},$$

$$v_{\text{к}}(t) = -2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot a_{\text{к и}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{\text{и}}}\right). \quad (7)$$

При резании с постоянной основной скоростью резания $v_{\text{р}}$, м/с угол наклона режущей кромки будет [2]

$$\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = \frac{v_{\text{р}}}{\sqrt{(v_{\text{р}})^2 + \left(-2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot a_{\text{к и}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{\text{и}}}\right)\right)^2}}. \quad (8)$$

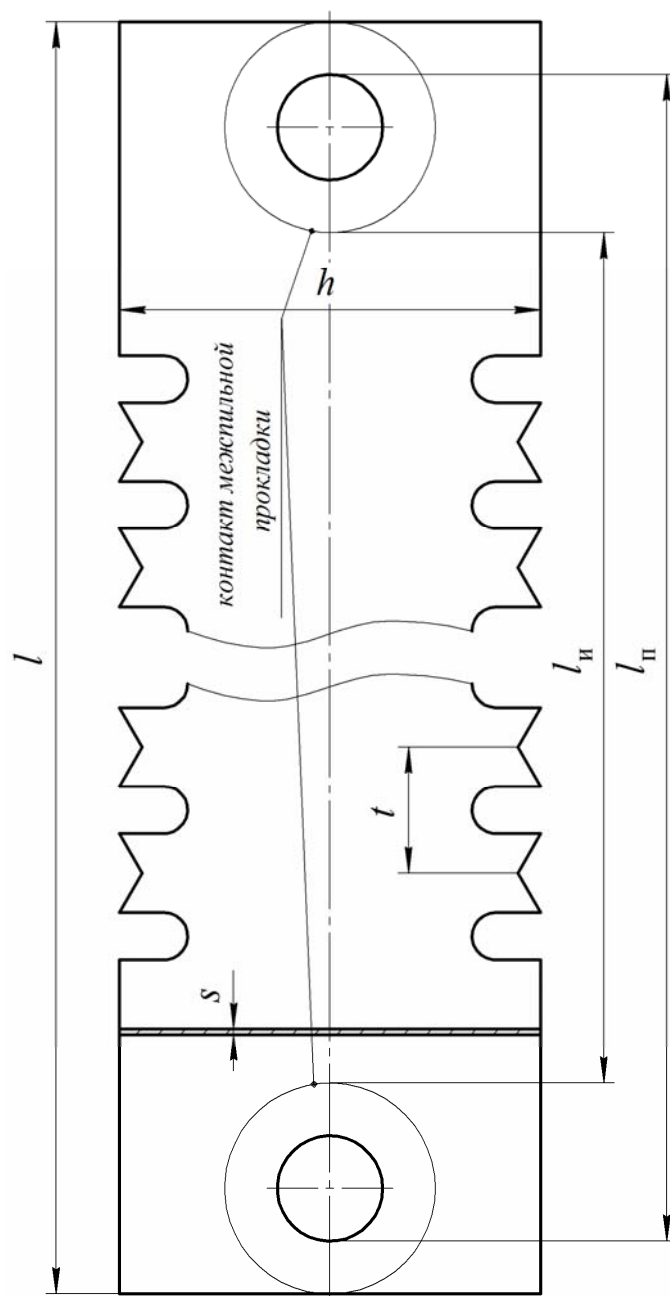


Рисунок 2 – Пила рамная

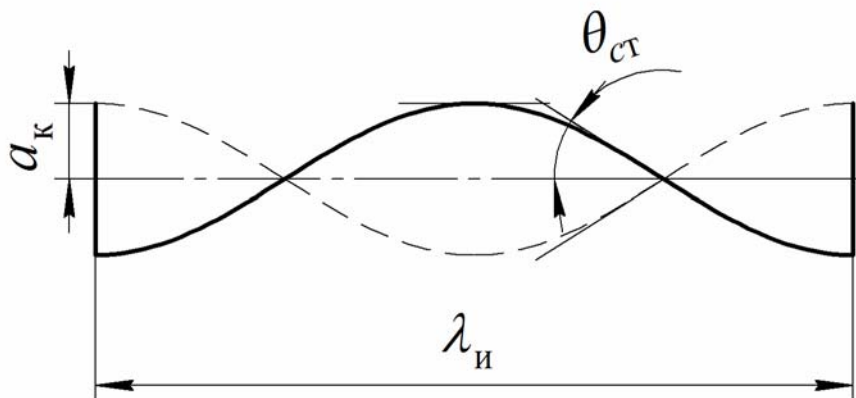


Рисунок 3 – Распространение изгибной стоячей волны по пиле

Для пучностей волны

$$x = \pm \frac{m \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = \frac{v_p}{\sqrt{(v_p)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot a_{\text{к и}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t))^2}}. \quad (8)$$

Для узлов волны

$$x = \pm \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = 1,$$

$$\theta_{\text{дин}}(x, t) = \pm 2 \cdot \pi \cdot m, \quad (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Резание с переменным углом наклона режущей кромки приводит к изменению геометрии резания. В частности контурный угол резания $\delta_{\text{к}}$, рад, Контурный задний угол $\alpha_{\text{к}}$, рад, и радиус закругления режущей кромки, ρ , м, можно определить из соотношений [2]:

$$\tan \delta_{\text{к}} = \tan \delta_{\text{с}} \cdot \cos \theta(x, t),$$

$$\tan \alpha_{\text{к}} = \tan \alpha_{\text{с}} \cdot \cos \theta(x, t),$$

$$\rho = \rho \cdot \cos \theta(x, t),$$

где $\delta_{\text{с}}$ – статический угол резания, рад;

$\alpha_{\text{с}}$ – статический задний угол, рад;

ρ – радиус закругления режущей кромки без наложения колебаний, м.

Статическая составляющая угла наклона режущей кромки при ультразвуковом резании очень невелика. В частности при амплитуде $a_{\text{к и}} = 20$ мкм, частоте $f_{\text{к}} = 18000$ Гц она составляет не более $8 \cdot 10^{-4}$ рад для пил из инструментальных сталей. Поэтому основную роль играет динамическая составляющая.

Очевидно, что размещение зубьев в узлах стоячей изгибной волны (где имеет максимальное значение статическая составляющая угла наклона режущей кромки) нецелесообразно, так как в этих точках реализуется обычное резание

Наиболее выгодным будет вариант, когда узлы продольной волны и узлы изгибной волны совпадают, тем самым можно убирать зубья пилы в одном месте. Это вполне возможно путем выбора геометрических размеров пилы (длины l , м, ширины h , м, или толщины s , м, пилы). Однако, как показали эксперименты с опытной конструкцией пильной рамки, изгибные колебания играют значительно меньшую (и даже негативную) роль, чем продольные.

Следует также уделить особое внимание выбору контурных углов инструмента, так как они являются переменными. В частности при амплитуде $a_{\text{к и}} = 20$ мкм, часто-

те $f_k = 18000$ Гц и $v_p = 1$ м/с косинус динамического угла наклона режущей кромки достигает значения $\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = 0,55$, что весьма существенно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Перевод с яп. С.Л. Масленникова; Под ред. И.И. Портнова и В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.: ил.
2. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: Учебник для вузов / В. И. Любченко. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: МГУЛ, 2004. – 310 с.: ил.
3. Пат. 2113347 Россия, МКИ 6 В 27 В 1/00, 3/00, 19/00, 23/00. Способ распиловки древесины лезвийным инструментом и устройство для его осуществления. / В. Ф. Гордеев и др. – № 97105166/13; Заявл. 02.04.97; Оpubл. 20.06.98, Бюл. № 17.
4. Пат. 2124984 Россия, МКИ 6 В 27 В 33/10, В 23 D 61/12. Пильное полотно. / В. Ф. Гордеев и др. – № 96122695/ 13; Заявл. 28.11.96; Оpubл. 20.01.99, Бюл. № 2.

О КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ПИЛЫ ПРИ РЕЗАНИИ

Пашков В.К., Щепочкин С.В. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

art-sit@yandex.ru

ABOUT CONVECTIVE HEAT EXCHANGE OF A CUTTING PARTSAWS AT CUTTING

В работах по исследованиям теплофизической обстановки в зоне резания круглыми пилами, оценки доли тепла, отводимого через инструмент существенно различаются. По результатам экспериментальных исследований [1] через контактные поверхности лезвий зубьев с древесиной на нагрев пил расходуется до 70 % общего количества эквивалентной тепловой мощности при резании. При этом 60...65 % идёт на нагрев режущей части пилы в установившемся тепловом режиме.

Для аналитической оценки количества тепла, расходуемого на нагрев режущей части необходимо знать достоверную информацию о распределении температуры по высоте зуба и коэффициенте теплоотдачи зуба при конвективном теплообмене с окружающей средой.

По нашим исследованиям температурный напор данного сечения зуба по высоте над температурой окружающей среды определяется выражением

$$\Delta t_{\text{cpi}} = \Delta t_0 \frac{e^{-mx_i} U(0,5(1+\nu); 1; 2mx_i)}{e^{\frac{m\rho}{\sin \beta/2}} U\left(0,5(1+\nu); 1; \frac{2m\rho}{\sin \beta/2}\right)}, \quad (1)$$